Journal of Agroecology
Vol. 12, No.2, Summer 2020, p. 265-279

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹، ص ۲۷۹-۲۶۵

مقاله علمی- پژوهشی

ارزیابی توانایی بالقوه ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی و پتانسیل گرمایش جهانی گندم (*Triticum aestivum* L.) در استان خراسان رضوی

عبدالله ملافیلابی[۱*] و جواد شباهنگ[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۲۹

ملافیلابی، ع.، و شباهنگ، ج.، ۱۳۹۹. ارزیابی توانایی بالقوه ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی و پتانسیل گرمایش جهانی گندم (*Triticum aestivum* L.) در استان خراسان رضوی. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۲(۲): ۲۷۹-۲۶۵.

چکیده

به‌منظور تعیین خصوصیات خاک و توانایی بالقوه ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی گندم (*Triticum aestivum* L.)، نمونه‌برداری به‌روش تصادفی سیستماتیک از پنج نقطه در ۲۵ مزرعه در استان خراسان رضوی در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. برای تعیین ضرایب تبدیل ترسیب کربن در اندام‌های هوایی و زیرزمینی شامل سنبله، ساقه، برگ و ریشه از روش احتراق استفاده شد. میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای شامل CO_2، N_2O و CH_4 با استفاده از ضرایب انتشار محاسبه شد. نتایج نشان داد که میانگین محتوی کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر قابل دسترس، پتاسیم قابل دسترس، وزن مخصوص ظاهری، اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک مزارع گندم به‌ترتیب ۰/۹۸ درصد، ۰/۰۲۲ درصد، ۲۷/۰۷ پی‌پی‌ام، ۳۴۱/۳۲ پی‌پی‌ام، ۱/۳۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب، ۷/۸۱ و ۱/۴۲ دسی‌زیمنس بر متر تعیین شد. بالاترین و پایین‌ترین ضریب تبدیل به‌ترتیب برای سنبله + دانه (۵۲/۰ درصد) و ریشه (۳۱/۹۹ درصد) به‌دست آمد. مجموع توان بالقوه ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی برابر با ۸/۲۵ تن در هکتار تعیین گردید که بیشترین و کمترین میزان به‌ترتیب برای ساقه و ریشه با ۴/۲۸ و ۰/۳۵ تن در هکتار حاصل گردید. مجموع پتانسیل گرمایش جهانی گندم به‌ازای نهاده‌های مصرفی و عملیات زراعی ۸۸۸۴/۸۶ کیلوگرم معادل CO_2 به‌ازای یک تن دانه محاسبه گردید که بیشترین میزان با ۸۰۹۲/۲۴ کیلوگرم معادل CO_2 به‌ازای یک تن دانه به سوخت‌های فسیلی اختصاص داشت.

واژه‌های کلیدی: انتشار گازهای گلخانه‌ای، ضریب تبدیل، کربن آلی، کود نیتروژنه

مقدمه

از اواخر قرن ۱۸ میلادی تاکنون غلظت دی‌اکسید کربن حدود ۲۵ درصد افزایش یافته و از حدود ۲۸۰ پی‌پی‌ام به بیش از ۳۶۰ پی-پی‌ام رسیده است. از جمله فعالیت‌های مؤثر در این رابطه می‌توان به به‌کارگیری مدیریت رایج بوم‌نظام‌های زراعی، اعمال خاک‌ورزی‌های فشرده، سوزاندن سوخت‌های فسیلی و تغییر کاربری اراضی شامل تبدیل مراتع به دیم‌زارها، جنگل‌زدایی و سوزاندن زیست‌توده گیاهی اشاره کرد (Hutchinson et al., 2007). دوبری و همکاران (Duxbury et al., 1993) سهم انتشار دی‌اکسید کربن از زمین‌های کشاورزی را ۲۵-۲۰ درصد کل دی‌اکسید کربن انتشار یافته به اتمسفر گزارش نمودند.

از جمله راهکارهای اکولوژیکی مؤثر در کاهش سطح دی‌اکسید کربن به‌عنوان یکی از مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای (Heinemann et al., 2005) در اتمسفر و افزایش آن در خاک، می‌توان به نظام‌های بدون شخم (Follett et al., 2005; Lal & Kimble, 1997)،

۱-استادیار گروه زیست‌فناوری مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران.
۲- دکتری بوم‌شناسی زراعی گروه زراعت و اصلاح و نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: a.filabi@rifst.ac.ir)
Doi:10.22067/jag.v12i2.75482

کودهای آلی (Falloon et al., 1998)، تناوب زراعی و کشت مخلوط (Follett et al., 2005) در بوم‌نظام‌های زراعی اشاره کرد. از جمله راهکارهای اکولوژیکی برای حذف دی‌اکسید کربن ذخیره این گاز در قالب زیست توده گیاهی (ترسیب کربن[1]) و وارد کردن کربن آلی به خاک می‌باشد. اینگرام و فرنانذ (Ingram & Fernandez, 2001) خاک را به‌عنوان بزرگ‌ترین منبع کربن خشکی و مدیریت ترسیب کربن در آن را مهم‌ترین فاکتور برای افزایش سازگاری نظام نسبت به گاز دی‌اکسید کربن معرفی کردند. مک‌کونکی و همکاران (Mc Conkey et al., 2003) گزارش نمودند که میزان ذخیره کربن در خاک‌های بدون شخم در مقایسه با خاک‌های شخم‌خورده بین ۶۷ -۵۱۲ کیلوگرم در هکتار بیشتر است. مطالعه یان و همکاران (Yan et al., 2007) روی محتوی کربن در زمین‌های زراعی نشان داد که اعمال نظام‌های بدون شخم در ۵۰ درصد زمین‌های زراعی و افزودن ۵۰ درصد از بقایای گیاهی به خاک باعث افزایش توان ترسیب کربن خاک شد. نتایج مطالعه خرم‌دل و همکاران (Khorramdel et al., 2013) نشان داد که افزایش شدت خاک-ورزی و استفاده از کود شیمیایی نیتروژن‌دار در نظام‌های پرنهاده به‌علت افزایش سرعت تجزیه کربن آلی منجر به کاهش محتوی آن، کاهش بخش پایدار کربن آلی و در نهایت، بهبود توان ترسیب کربن خاک شد. بر این اساس، با توجه به اینکه میزان ماده آلی خاک به‌ویژه در نواحی خشک و نیمه‌خشک جهان و همچنین در کشور ایران به‌شدت پایین می‌باشد (Bationo & Buerkert, 2001)، بنابراین افزایش محتوی کربن و ماده آلی خاک را می‌توان به‌عنوان راهکاری چندمنظوره جهت کاهش غلظت دی‌اکسید کربن، بهبود پتانسیل ترسیب کربن و حفظ سطح تولید در بوم‌نظام‌های زراعی این مناطق مورد استفاده قرار داد.

گونه‌های گیاهی غالب هر منطقه نیز به‌دلیل برخورداری از سطح تاج‌پوشش بیشتر، نقش اصلی را در ترسیب کربن رویشگاه ایفا می‌کنند (Hill et al., 2003). گونه‌های سازگار به مناطق خشک و نیمه‌خشک و هر یک از اندام‌های آن‌ها دارای نقش متفاوتی در این فرآیند هستند. نجم‌الدینی (Najm-Eldini, 2013) دریافت بین میزان ذخیره کربن پوشش گیاهی و فرم‌های متفاوت رویشی با میزان کربن ترسیب شده ارتباط معنی‌داری وجود داشت. مورتنسون و شیومن (Mortenson & Schuman, 2002) نیز بیان نمودند که پتانسیل ترسیب کربن بر حسب نوع گونه، مکان و شیوه مدیریت متفاوت می‌باشد. ما (Ma, 1999) با بررسی پتانسیل ترسیب کربن ارزن چندساله (*Pennisetum glaucum L.*) بیان داشت با توجه به بالاتر بودن سهم کربن تسهیم یافته به ریشه در مقایسه با سایر بافت‌های گیاهی، ریشه‌های این گیاه بیشترین تأثیر را بر توان ترسیب کربن خاک داشتند.

ایران با داشتن شرایط آب‌وهوایی ویژه، بستر مناسبی را برای تولید انواع محصولات کشاورزی فراهم آورده است. در این میان، زراعت غلات، بخش اساسی فعالیت کشاورزان را شامل می‌شود. در شرایط متغیر اقلیمی مناطق نیمه‌خشک همچون خراسان رضوی، گیاهانی که بتوانند بدون آبیاری کشت شوند، محدودند. غلات مقاوم به خشکی به‌ویژه گندم (*Triticum aestivum* L.) که گونه‌ای استراتژیک محسوب می‌شود، در این مناطق از اهمیت به‌سزایی برخوردارند. از طرف دیگر، اگرچه محققان راهکارهای بهبوددهنده پتانسیل ترسیب کربن خاک را بسیار متنوع می‌دانند، امّا با توجه به اینکه بخش عمده اراضی کشور به‌ویژه استان خراسان رضوی در مناطق خشک و نیمه‌خشک واقع بوده که دارای محتوی ماده آلی بسیار پایین (در حدود کمتر از ۰/۱ درصد) می‌باشد (I & Hajabbas Hemmat, 2000; Mosaddeghi et al., 2000; Shirani et al., 2002)، به نظر می‌رسد که ارزیابی پتانسیل ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی گندم به‌عنوان یکی از گیاهان اصلی منطقه خراسان امری ضروری به نظر می‌رسد. علاوه‌براین، تعیین خصوصیات خاک این محصول ارزشمند و ارزیابی پتانسیل گرمایش جهانی می‌تواند اطلاعات مفیدی را در خصوص نحوه مدیریت این گیاه ارائه نماید. بنابراین، این مطالعه با هدف ارزیابی خصوصیات خاک، توان بالقوه ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی گندم و برآورد پتانسیل گرمایش جهانی آن در استان خراسان رضوی انجام شد.

مواد و روش‌ها

ارزیابی توانایی بالقوه ترسیب کربن

به‌منظور ارزیابی توانایی بالقوه ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی گندم نمونه‌برداری به‌روش تصادفی سیستماتیک (Chambers & Brown, 1983) از پنج نقطه در ۲۵ مزرعه در استان خراسان رضوی در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک (Mahdavi et al., 2009) انجام شد. به این صورت‌که سه ترانسکت به‌طول ۳۰ متر به‌صورت تصادفی و در امتداد

1-Carbon sequestration

هر ترانسکت سه پلات ۰/۵ مترمربعی مستقر و اندام‌های هوایی و زیرزمینی در هر پلات به‌طور کامل برداشت شد. زمان برداشت اندام‌های رویشی و زایشی شامل دانه + سنبله، ساقه، برگ و ریشه در بهار بود. برای مطالعه خاک، از بین پلات‌های مستقر شده در امتداد هر ترانسکت، پنج پلات به‌صورت تصادفی انتخاب و در داخل هر یک پروفیلی در زیر هر گیاه حفر و از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری، نمونه‌برداری صورت گرفت.

برای تعیین ضرایب تبدیل در اندام‌های چهارگانه (شامل سنبله + دانه، ساقه، برگ و ریشه) از روش احتراق (Abdi et al., 2008; Bordbar et al., 2008; Forouzeh et al., 2008) استفاده شد. بر این اساس، اندام‌های برداشت شده به‌تفکیک در آون (به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد) خشک و پس از ترکیب، نمونه‌های دو گرمی در کوره احتراق (به‌مدت سه ساعت در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد) قرار داده شد. خاکستر نمونه‌ها پس از خنک شدن در دسیکاتور، توزین شد. با تعیین وزن خاکستر و وزن اولیه ماده آلی، محتوی کربن آلی هر یک از اندام‌های گیاهی محاسبه شد (Polidori et al., 2008). میزان ترسیب کربن خاک، پس از تعیین میزان کربن آلی خاک با استفاده از روش والکی و بلک (Walkley & Black, 1934) محاسبه گردید.

برآورد انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی

جهت برآورد میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی گندم در استان خراسان رضوی طی سال زراعی ۹۶- ۱۳۹۵، میزان مصرف سوخت، کود دامی و نهاده‌های شیمیایی شامل کودهای نیتروژن، فسفر، پتاسیم، علف‌کش، حشره‌کش و قارچ‌کش به‌صورت تکمیل ۵۰ پرسش‌نامه و مصاحبه حضوری از کشاورزان منطقه جمع‌آوری شد. برای تعیین تعداد پرسش‌نامه از رابطه کوکران (Snedecor & Cochran, 1980) استفاده شد (معادله ۱).

معادله (۱) $$n=(N\ t^2\ s)/(Nd^2+t^2\ s^2)$$

که در این معادله، N: اندازه جمعیت آماری، t: t استیودنت ضریب اطمینان (بر اساس احتمال ۹۵ درصد)، S^2: واریانس، d: دقت احتمالی مطلوب و n: حجم نمونه می‌باشد.

میانگین میزان مصرف نهاده‌های مصرفی در نظام‌های تولید گندم در استان خراسان رضوی به‌ازای یک هکتار در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- میزان نهاده‌های مصرفی در نظام‌های تولید گندم به‌ازای یک هکتار در استان خراسان رضوی طی سال ۹۴- ۱۳۹۳

Table 1- Mean of consumed inputs in wheat agrosystems per one ton ha in Khorasan-e-Razavi during year of 2014-2015

کود حیوانی Manure (t)	حشره‌کش Insecticide (l)	قارچ‌کش Fungicide (l)	علف‌کش Herbicide (l)	کود شیمیایی Chemical fertilizers (kg) پتاسیم K	فسفر P	نیتروژن N	سوخت Fuel (l)
0.78	0.31	0.42	2.13	36.98	158.14	253.45	8862.56

میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای شامل دی‌اکسید کربن (CO_2)، اکسید نیتروس (N_2O) و متان (CH_4) با استفاده از ضرایب انتشار محاسبه شد (IPCC, 2007; Lal, 2004; Snyder et al., 2009; Tzilivakis et al., 2005). قابل ذکر است به‌دلیل عدم موجود بودن ضریب انتشار CO_2 برای آفت‌کش‌ها و همچنین عدم مصرف این نوع ماده شیمیایی در تعداد زیادی از مزارع مورد بررسی، از برآورد آن خودداری شد. در همین راستا، خوش‌نویسان و همکاران (Khoshnevisan et al., 2013) نیز اظهار داشتند که آفت‌کش‌های شیمیایی سهم ناچیزی از پتانسیل گرمایش جهانی را شامل می‌شوند.

از آن‌جا که اثر هر یک از گازهای گلخانه‌ای بر پتانسیل گرمایش جهانی متفاوت می‌باشد (IPCC, 2007)، لذا این شاخص با استفاده از معادله ۲ به‌صورت معادل دی‌اکسید کربن محاسبه گردید (Tzilivakis et al., 2005).

معادله (۲)

$$GWP= CO_2\ flux + (N_2O\ flux\times ۳۱۰) + (CH_4\ flux\times ۲۱)$$

که در آن، GWP: پتانسیل گرمایش جهانی (کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن به‌ازای یک تن دانه)، CO_2 flux: انتشار دی‌اکسید کربن، N_2O flux: انتشار اکسید نیتروژن و CH_4 flux: انتشار متان

می‌باشد.

تعیین قابلیت پایایی پرسش‌نامه[1]

برای سنجش قابلیت پایایی پرسش‌نامه از ضریب آلفای کرونباخ[2] استفاده گردید (Cronbach, 1951). ضریب آلفای یکی ازمتداول‌ترین روش‌های اندازه‌گیری اعتمادپذیری و یا پایایی پرسش‌نامه است. منظور از پایایی پرسش‌نامه آن است که اگر صفت‌های مورد سنجش با همان وسیله و در شرایط مشابه و زمان‌های مختلف مجدداً اندازه-گیری شوند، نتایج تقریباً یکسان حاصل شود.

داده‌های بخش ارزیابی توان بالقوه ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی گندم در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 مورد تجزیه آماری قرار گرفت. لازم به ذکر است که نمونه‌های برداشت شده در مزرعه به‌عنوان تکرار در نظر گرفته شد. میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد مقایسه شدند. جهت رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

ضریب آلفای کرونباخ برای مقیاس اصلی پرسش‌نامه ٪۸۴ =α محاسبه شد که نشان‌دهنده قابلیت اعتماد بالای پرسش‌نامه بوده است.

خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک

مزارع گندم در استان خراسان رضوی دارای بافت خاک رسی سیلتی بوده و میانگین محتوی کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر قابل دسترس، پتاسیم قابل دسترس، وزن مخصوص ظاهری، اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک مزارع مورد مطالعه به‌ترتیب ۰/۹۸ درصد، ۰/۰۲۲ درصد، ۲۷/۰۷ پی‌پی‌ام، ۳۴۱/۳۲ پی‌پی‌ام، ۱/۳۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب، ۷/۸۱ و ۱/۴۲ دسی‌زیمنس بر متر تعیین شد.

عملکرد اندام‌های هوایی و زیرزمینی گندم

میانگین عملکرد سنبله + دانه، ساقه، برگ و ریشه گندم به‌ترتیب برابر با ۵۰۹/۱۶، ۸۸۰/۶۴، ۲۳۶/۹۷ و ۱۰۹/۷۳ گرم بر مترمربع به‌دست آمد. همچنین میزان ترسیب کربن خاک در این مزارع برابر با ۴۰۲۷/۸۰ گرم در مترمربع محاسبه شد. دلیل پایین بودن ترسیب کربن خاک مربوط به محتوی پایین ماده آلی خاک می‌باشد. خرم‌دل و همکاران (Khorramdel et al., 2015) توان بالقوه ترسیب کربن خاک‌های مزارع کلزا (*Brassica napus*) استان خراسان را ۳/۴۶ تن در هکتار گزارش نمودند.

وارد کردن بقولات در تناوب زراعی با سایر گیاهان علاوه‌بر بهبود محتوی نیتروژن، کربن خاک را اضافه (Sainju et al., 2009) و حاصلخیزی خاک را نیز افزایش می‌دهد (Melero et al., 2011). جاسترو و همکاران (Jastrow et al., 2007) نیز تأیید نمودند در هر سیستمی که ورودی کربن به خاک بیش از خروجی آن باشد، از طریق افزایش بودجه کربن، ترسیب کربن رخ می‌دهد. نتایج مطالعه وست و پوست (West & Post, 2002) نیز نشان داد که میانگین ترسیب کربن در شرایط تغییر خاک‌ورزی از رایج به بدون شخم برابر با ۱۴±۵۷ گرم کربن در مترمربع در سال بود. این محققان پتانسیل ترسیب کربن خاک را تحت تأثیر افزایش تناوب زراعی ۰/۱۱± ۰/۱۵ مگاگرم در هکتار در سال گزارش کردند. بازگردانیدن بقایای گیاهی به خاک نیز غلظت کربن آلی و توان ترسیب کربن خاک را افزایش داده (Havlin et al., 1990) و دانه‌بندی را نیز بهبود می‌بخشد (Lal, 1997) و از این طریق باعث بهبود ترسیب کربن در خاک می‌شود. اسکالپ و همکاران (Schulp et al., 2008) بیان داشتند که نوع و ترکیب گونه‌ها از طریق تأثیر در ورودی کربن به خاک، مقدار کربن آلی و توان ترسیب کربن را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

از آن‌جا که کاشت گیاهان چندساله به‌واسطه افزایش درصد چوبی شدن و تفاوت‌های فیزیولوژیکی با گونه‌های یک‌ساله (Tamartash et al., 2012 ;Nobakht et al., 2011)، کاهش عملیات خاک‌ورزی (Jastrow et al., 2007; West & Post, 2002)، تناوب کاشت به‌ویژه در شرایط انتخاب گیاهان خانواده بقولات (López-Bellido et al., 2010)، اثر مثبتی بر بهبود کربن آلی و ترسیب کربن خاک دارد (Campbell et al., 1996 a; Campbell et al., 1996 b; López-Bellido et al., 2010)، لذا با توجه به اجرای خاک‌ورزی-های فشرده در مزارع گندم در این استان و نظر به اهمیت فقر ماده آلی در خاک‌های این مزارع، پیشنهاد می‌شود روش‌های نوین خاک-ورزی هم‌چون کم‌خاک‌ورزی و بدون خاک‌ورزی، حفظ بقایای گیاهی در سطح خاک و وارد کردن بقولات در تناوب زراعی به‌منظور بهبود

1- Reliability
2- Cronbach's alfa

توان ترسیب کربن خاک به‌ویژه در نظام‌های زراعی مناطق خشک و نیمه‌خشک مدنظر قرار گیرد که اجرای آن راهکارها بهبود تنوع کارکردی و در نتیجه، پایداری سیستم‌های تولید گندم را نیز موجب خواهد شد.

ضرایب تبدیل و توان بالقوه ترسیب کربن

محتوی کربن و ضریب تبدیل بین اندام‌های هوایی و زیرزمینی گندم به‌طور معنی‌داری متفاوت بود (p≤ ۰/۰۱) (جدول ۲).

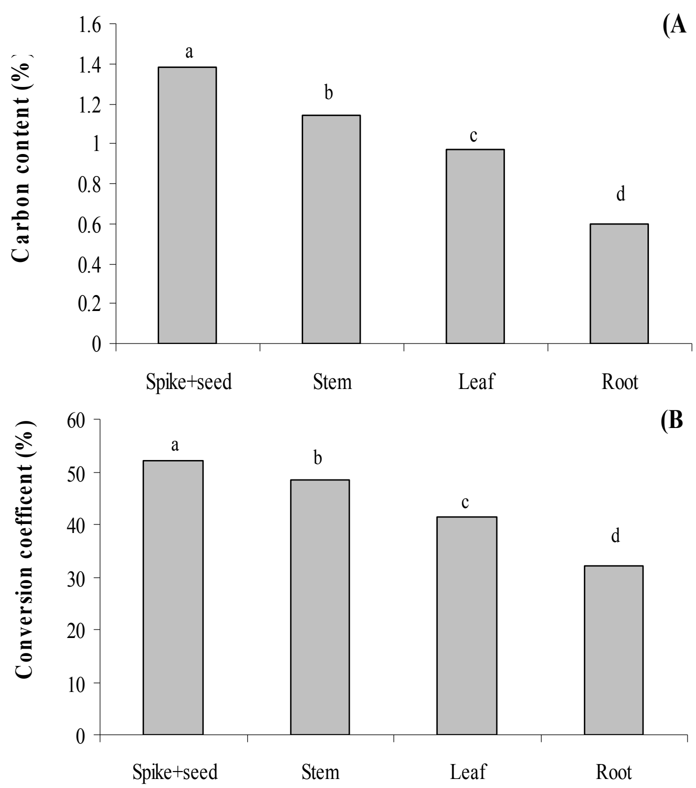
جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) میزان کربن، ضرایب تبدیل و توان بالقوه ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی گندم

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) for carbon content, conversion coefficients and carbon sequestration potential of wheat above-ground and under-ground tissues

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	محتوی کربن Carbon content	ضریب تبدیل Conversion coefficient	توان ترسیب کربن Carbon sequestration potential
اندام‌های هوایی و زیرزمینی Above and below ground tissues	3	0.548**	391.05**	155654**
خطا Error	16	0.00282	4.63	112
کل Total	19	-	-	-

**: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

**: Significant at 1% probability level.



شکل ۱- مقایسه میانگین (الف) محتوی کربن و (ب) ضرایب تبدیل اندام‌های هوایی و زیرزمینی گندم

Fig. 1- Mean comparison for (A) carbon content and (B) conversion coefficients of wheat above-ground and under-ground tissues

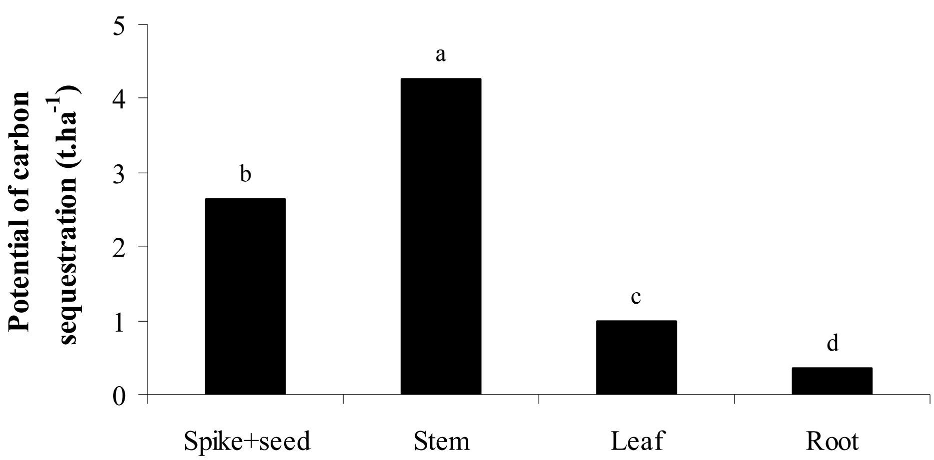
میانگین‌های دارای حروف مختلف در هر شکل، بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری دارند (p≤ ۰/۰۵).

Means with different letter(s) in each shape have significant difference based on Duncan’s test (p≤ 0.05).

بیشترین و کمترین محتوی کربن در بین اندام‌های مختلف به‌ترتیب به سنبله + دانه و ریشه با ۱/۳۹ و ۰/۶۰ درصد تعلق داشت. میزان افزایش محتوی کربن ساقه و برگ در مقایسه با ریشه به‌ترتیب ۹۱ و ۶۲ درصد محاسبه شد. میزان افزایش میانگین محتوی کربن اندام‌های هوایی ۹۵ درصد بالاتر از ریشه تعیین گردید (شکل ۱- الف).

بالاترین ضریب تبدیل به سنبله + دانه با ۵۲/۰ درصد اختصاص داشت و کمترین ضریب برای ریشه با ۳۱/۹۹ درصد به‌دست آمد. میزان افزایش ضریب تبدیل ساقه و برگ در مقایسه با ریشه به‌ترتیب برابر با ۵۲ و ۲۹ درصد محاسبه گردید. همچنین میانگین ضریب تبدیل اندام‌های هوایی ۴۸ درصد بالاتر از ریشه تعیین شد (شکل ۱- ب). کاهش ضریب تبدیل در برگ‌ها و ریشه احتمالاً تحت تأثیر بالاتر بودن مواد معدنی در این اندام‌ها در مقایسه با سایر اندام‌ها بوده که کاهش محتوی کربن را به‌دنبال داشته است. از طرف دیگر، بالا بودن ضریب تبدیل سنبله + دانه احتمالاً تحت تأثیر میزان کم آب در این اندام‌ها است. نتایج مطالعه جعفریان و طایفه سید علیخوانی (Jafarian & Tayefeh Seyyed Alikhani, 2013) نیز مؤید بالاتر بودن ضرایب تبدیل اندام‌های هوایی در مقایسه با ریشه گندم بود. خرم‌دل و همکاران (Khorramdel et al., 2015) گزارش نمودند که در مقایسه اندام‌های هوایی و زیرزمینی کلزا، بیشترین ضریب تبدیل برای خورجین و بذر با ۵۱/۶۵ درصد به‌دست آمد که مقادیر محاسبه شده برای سایر اندام‌ها شامل ساقه، برگ و ریشه به‌ترتیب ۵، ۱۶ و ۳۴ درصد کمتر از خورجین و بذر بود. فروزه و همکاران (Forouzeh et al., 2008) گزارش نمودند که ضرایب تبدیل اندام‌های سه گونه گل آفتابی (*Helianthemum lippii* (L.) Pers.)، سیاه گینه (*Dendrostellera lessertii* (Wikstr.) Van Tiegh.) و درمنه دشتی (*Artemisia sieberi* Besser.) متفاوت بود.

توان بالقوه ترسیب کربن به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اندام‌های هوایی و زیرزمینی گندم قرار گرفت ($p\leq 0/01$) (جدول ۲). مجموع توان بالقوه ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی برابر با ۸/۲۵ تن در هکتار تعیین گردید که بیشترین و کمترین میزان به‌ترتیب برای ساقه و ریشه با ۴/۲۸ و ۰/۳۵ تن در هکتار حاصل گردید. سهم ساقه، سنبله + دانه، برگ و ریشه از کل توان ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی به‌ترتیب ۵۲، ۳۲، ۱۲ و ۴ درصد محاسبه شد (شکل ۲).



شکل ۲- مقایسه میانگین ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی گندم

Fig. 2- Mean comparison for carbon sequestration potential of wheat above-ground and under-ground tissues

میانگین‌های دارای حروف مختلف بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری دارند ($p\leq 0/05$).

Means with different letter(s) have significant difference based on Duncan's test ($p\leq 0.05$).

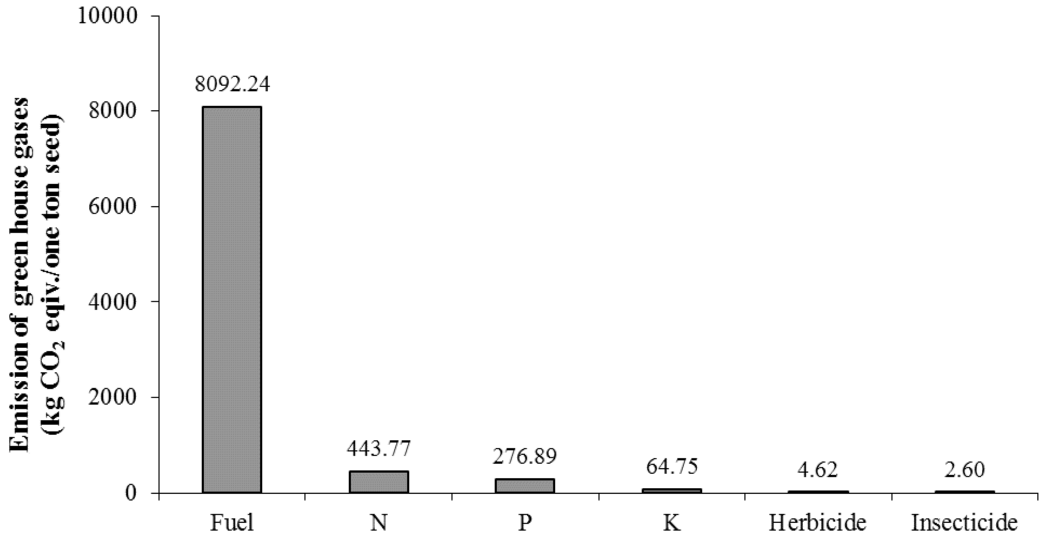
اگرچه بافت ریشه به ظاهر خشبی‌تر از ساقه است، ولی به نظر می‌رسد که وجود ترشحات ریشه‌ای (Daudu et al., 2009) و

همچنین نسبت کمتر کربن به نیتروژن این بافت (Russell et al., 2005) موجب کاهش توان ترسیب کربن آن در مقایسه با ساقه شده است. از طرف دیگر، وجود بافت خشبی‌تر در ساقه و همچنین وزن خشک بالاتر آن در مقایسه با سایر اندام‌ها موجب افزایش توان ترسیب کربن آن شد. لذا به نظر می‌رسد که اندام‌های با بافت چوبی‌تر از توان بیشتری در ترسیب کربن برخوردار بوده و افزایش نسبت اندام‌های هوایی چوبی، ارتقاء توان ترسیب کربن را موجب می‌شود.

بر این اساس، با توجه به سهم بالای انتشار گازهای گلخانه‌ای از بوم‌نظام‌های زراعی، توصیه می‌شود از تنوع بخشیدن به الگوهای کشت و ورود گیاهان چندساله مانند گیاهان علوفه‌ای، دارویی و کشت مخلوط، کاربرد بقایای گیاهی، کاهش شدت عملیات خاک‌ورزی و مصرف مقادیر مناسب کودهای آلی به‌عنوان راهکارهایی پایدار برای تخفیف گرمایش جهانی بهره‌گیری شود (Braschkat et al., 2003) که اجرای این روش‌ها علاوه‌بر جلوگیری از فرسایش خاک، موجب بهبود پتانسیل ترسیب کربن خواهد شد. البته به‌کارگیری این راهکارهای اکولوژیک بهبود تنوع کارکردی و در نتیجه پایداری نظام‌های تولید را نیز به‌دنبال خواهد داشت. همچنین به‌منظور کاربردی‌تر بودن نتایج این آزمایش پیشنهاد می‌شود که اضافه کردن بقایای ساقه گندم به‌عنوان فرآورده جانبی مزارع تولید این گیاه جهت بهبود محتوی ماده آلی و افزایش پتانسیل ترسیب کربن در خاک به‌ویژه در شرایط آب‌وهوایی خشک و نیمه‌خشک نظیر استان خراسان رضوی که محتوی کربن آلی خاک پایین است و همچنین به‌منظور افزایش ثبات تولید مدنظر قرار گیرد. خرم‌دل و همکاران (Khorramdel et al., 2015) مجموع توان بالقوه ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی کلزا را ۵/۱۲ تن در هکتار تعیین کردند. این محققان همچنین اظهار داشتند که بالاترین و پایین‌ترین توان بالقوه ترسیب کربن به‌ترتیب برای ساقه با ۱/۸۱ تن در هکتار و برگ با ۰/۷۶ تن در هکتار به‌دست آمد. پتانسیل ترسیب کربن خورجین + بذر و ریشه نیز به‌ترتیب ۴ و ۵۶ درصد کمتر از ساقه محاسبه شد. فروزه و همکاران (Forouzeh et al., 2008) با بررسی پتانسیل ترسیب کربن اندام‌های سه گونه گل آفتابی، سیاه گینه و درمنه دشتی بیان داشتند که در مقایسه اندام‌های مختلف هوایی و زیرزمینی، ساقه‌ها بالاترین توان و برگ‌ها کمترین پتانسیل را به خود اختصاص دادند. جعفریان و طایفه سید علیخوانی (Jafarian & Tayefeh Seyyed Alikhani, 2013) نیز با بررسی پتانسیل ترسیب کربن اندام‌های مختلف گندم، بالاترین پتانسیل را برای سنبله (۱/۰۲۶ تن در هکتار) و کمترین میزان را به ریشه (۰/۱۸۹ تن در هکتار) نسبت دادند. سینگ و همکاران (Singh et al., 2003) تأکید نمودند که پتانسیل ترسیب کربن اندام‌های مختلف هوایی و زیرزمینی گیاهان متفاوت بود. نتایج یافته‌های گائو و همکاران (Gao et al., 2007) و یانگ (Yong, 2007) نیز مؤید بالاتر بودن پتانسیل ترسیب کربن اندام‌های هوایی از زیرزمینی بود. بنابراین، با توجه به پایین بودن ماده آلی خاک (Hajabbasi & Hemmat, 2000; Mc Conkey et al., 2003; Mosaddeghi et al., 2000) و تأثیر مثبت بقایای گیاهی بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک به‌ویژه محتوی کربن آلی (Busari et al., 2015; Kirchmann et al., 2016)، توصیه می‌شود مصرف بقایای اندام‌های هوایی و زیرزمینی گندم را جهت بهبود ماده آلی خاک به‌ویژه در بوم‌نظام‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک نظیر خراسان رضوی مدنظر قرار داد که از این طریق می‌توان پتانسیل ترسیب کربن خاک را نیز بهبود بخشید. بهبود پتانسیل ترسیب کربن، معادل افزایش زیست‌توده و تولید گیاهی، بهبود حاصلخیزی خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک و جلوگیری از فرسایش است (Jafarian & Tayefeh Seyyed Alikhani, 2013). بنابراین، از آن‌جا که زیست‌توده گیاهی در بهبود توان ترسیب کربن و کاهش غلظت این گاز نقش مؤثری دارد، هرگونه اقدامی که باعث افزایش پوشش گیاهی گردد، به‌طور غیرمستقیم در بهبود ترسیب کربن نیز تأثیرگذار خواهد بود.

پتانسیل گرمایش جهانی

مجموع پتانسیل گرمایش جهانی گندم در استان خراسان رضوی به‌ازای نهاده‌های مصرفی و عملیات زراعی برابر با ۸۸۸۴/۸۶ کیلوگرم معادل CO_2 به‌ازای یک تن دانه محاسبه گردید که بیشترین میزان با ۸۰۹۲/۲۴ کیلوگرم معادل CO_2 به‌ازای یک تن دانه (۹۱ درصد از کل پتانسیل گرمایش جهانی) به مصرف سوخت اختصاص داشت. در بین کودهای مصرفی، بیشترین و کمترین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌ترتیب مربوط به کودهای نیتروژنه (۴/۹۹ درصد از کل پتانسیل گرمایش جهانی) و پتاسه (۰/۷۳ درصد از کل پتانسیل گرمایش جهانی) با ۴۴۳/۷۷ و ۶۴/۷۵ معادل کیلوگرم CO_2 به‌ازای یک تن دانه بود. مجموع سهم سموم شیمیایی مصرفی در انتشار گازهای گلخانه‌ای در حدود یک درصد تعیین گردید (شکل ۳).



شکل ۳- میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای نظام‌های تولید گندم در استان خراسان رضوی بر اساس میزان مصرف نهاده‌ها
Fig. 3- Total emissions of green house gases for wheat agroecosystems in Khorasan-e-Razavi based on consumed inputs

دلیل عمده تولید و انتشار انواع گازهای گلخانه‌ای به‌ویژه CO_2 و N_2O در بوم‌نظام‌های زراعی مربوط به مصرف سوخت‌های فسیلی و به‌کارگیری ماشین‌آلات در عملیات مختلف زراعی و مصرف کود نیتروژن است. برنتراپ و همکاران (Brentrup et al., 2004) گزارش نمودند که ۵۹ درصد انتشار مستقیم CO_2 مربوط به کارخانه‌های تولید کودهای شیمیایی نیتروژنه است. کوپر و همکاران (Cooper et al., 2011) نیز اظهار داشتند از آن‌جا که ۱۴ درصد انتشار خالص دی‌اکسید کربن در بوم‌نظام‌های زراعی مربوط به عملیات خاک‌ورزی است، لذا برای کاهش انتشار دی‌اکسید کربن از بوم‌نظام‌های زراعی بایستی از روش‌های خاک‌ورزی حداقل و کاهش یافته بهره‌گیری شود. ناگی (Nagy, 2000) میزان انتشار دی‌اکسید کربن را در انواع علف‌کش‌ها برابر با ۲۰۰۰- ۱۹۹۶ کیلوگرم به‌ازای جزء فعال برآورد نمود.

علاوه‌بر افزایش غلظت دی‌اکسید کربن طی قرون گذشته به‌دلیل افزایش فعالیت‌های صنعتی، بررسی‌ها مؤید افزایش غلظت N_2O، در اتمسفر زمین از ۲۷۵ به ۳۱۹ پی‌پی‌بی می‌باشد. اگرچه غلظت این گاز در اتمسفر ناچیز به نظر می‌رسد، ولی پتانسیل گرمایش N_2O ۳۱۰ برابر بیشتر از دی‌اکسید کربن است و حضور آن علاوه‌بر تشدید گرمایش جهانی و تغییر اقلیم، تخریب ازن را نیز موجب می‌گردد (Crutzen, 1981). آی‌پی‌سی‌سی (ISO, 2006) میزان انتشار نیتروژن به اتمسفر را ۱/۲۵ کیلوگرم N_2O به‌ازای کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم در خاک گزارش نمود. برنتراپ و همکاران (Brentrup et al., 2004) عقیده دارند که انتشار N_2O به‌طور مستقیم وابسته به تولید و مصرف کودهای شیمیایی است. بومن (Bouwman, 1990) نیز عامل عمده انتشار N_2O از بوم‌نظام‌های کشاورزی را مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی و خاک‌ورزی فشرده معرفی نمود. خرم‌دل و همکاران (Khorramdel et al., 2014) گزارش نمودند که بیشترین پتانسیل گرمایش جهانی نظام تولیدی گندم آبی برابر با ۸۸۹/۶۱ واحد معادل دی‌اکسید کربن به‌ازای یک تن دانه برای سطح کودی بیش از ۲۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و برای گندم دیم برابر با ۹۳۷/۷۳ واحد معادل دی‌اکسید کربن به‌ازای یک تن دانه برای سطح کودی بیش از ۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حاصل شد. بارکر- رید و همکاران (Barker-Reid et al., 2005) میزان انتشار سالانه N_2O تحت تأثیر خاک‌ورزی فشرده و مصرف کودهای شیمیایی از مزارع تولید گندم دیم آلمان را ۰/۲۷- ۰/۲ kg N_2O-N/ha گزارش نمودند. میسترلینگ و همکاران (Meisterling et al., 2009) نشان دادند که تولید یک کیلوگرم نان در نظام ارگانیک نسبت به نظام رایج در آمریکا، ۳۰ کیلوگرم دی‌اکسید کربن کمتری تولید خواهد کرد.

میودری و همکاران (Moudrý et al., 2013) میزان انتشار دی‌اکسید کربن در نظام رایج را بیشتر از نظام ارگانیک بـرآورد نمودنـد. بـدین ترتیب، اگرچه افزایش مصرف کود نیتروژن، موجب افـزایش عملکـرد می‌گردد، ولی بایستی به این مهم توجه کرد که افزایش مصرف کـود نیتروژن، علاوه‌بر افزایش هزینه‌های تولید و افزایش مصرف انـرژی، موجب تشدید انتشار CO_2 و سایر گازهای گلخانه‌ای طی فرآیند تولید و مصرف این کود به محیط می‌گردد.

به‌طور کلی، از آن‌جا که میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در بـین نظام‌های تولید غلات بسته به نوع مدیریت، شرایط اقلیمی، خـاکی و نظام تولید متفاوت مـی‌باشـد (Khan et al., 2009; Khan et al., 2010) و با توجه به سهم بالای انتشار گازهای گلخانه‌ای، پیشـنهاد می‌شود از راهکارهای مدیریتی پایدار و اکولوژیک نظیـر خـاک‌ورزی حفاظتی، مصرف کودهای آلی و وارد کردن کود سبز و گیاهان تثبیت-کننده نیتروژن در تناوب زراعی جهت جبران کمبـود عناصـر غـذایی خاک به‌عنوان جایگزینی برای کودهای شیمیایی بهـره‌گیـری گـردد (Braschkat et al., 2003). روش‌های نـوین از جملـه خـاک‌ورزی حفاظتی و کم‌خاک‌ورزی نه تنهـا از نظـر مصـرف انـرژی و کـاهش مصرف سوخت‌های فسیلی اقتصادی‌تر هستند، بلکه از فرسایش خاک نیز جلوگیری کرده و با حفظ بقایای گیاهی بیشتر بر سطح خاک باعث بهبود پتانسیل ترسیب کربن نیز خواهند شد که علاوه‌بر بهبود تنـوع کارکردی، پایداری و ثبات را برای نظام‌های تولیـد گنـدم در اسـتان خراسان رضوی به ارمغان خواهد آورد.

توسعه تکنولوژی‌های رایج کشاورزی باعث افزایش مصرف انرژی شده که این امر تشدید آلودگی‌های زیست‌محیطی را نیز تحت تـأثیر ورود انواع آلاینده‌ها به بخش‌های مختلف محـیط زیسـت بـه‌شـکل آبشویی، تبخیر، تصعید و غیره، بروز بیماری‌های متفـاوت بـه‌دنبـال داشته است (Skowroñska & Filipek, 2014). به‌طـوری‌کـه طـی سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ میلادی میزان مصـرف کودهـای شـیمیایی شامل نیتروژن، P_2O_5 و K_2O در کشورهای اروپایی به‌ترتیـب ۱۰/۵، ۲/۴ و ۲/۷ میلیون تن بوده که این کودها بخش زیادی از آلاینده‌های زیست‌محیطی شامل ۱/۶ تن CO_2 بـه‌ازای تولیـد یـک تـن NH_3 و ۲/۵-۲ تن N_2O به‌ازای یک تن HNO_3 را به محیط منتشر نموده‌اند (Skowroñska & Filipek, 2014). در هنگـام تولیـد کودهـای شیمیایی نیز ۱۰-۳ درصد N_2 مولکولی، ۳-۰/۳ درصد NH_4 به محیط اکسید می‌شود. اختلاف زیاد محتـوی رطـوبتی خـاک در نظـام‌هـای مختلف زراعی افزایش انتشار N_2O و آبشویی نیترات را نیز به‌همـراه دارد (Brentrup & Palliere, 2008; Lammel, 2000). بنـابراین، پیشنهاد می‌شود وضعیت زیست‌محیطی این نظام‌های تولید با استفاده از راهکارهای مختلف اکولوژیکی نظیـر ارزیـابی چرخـه‌حیـات مـورد بررسی قرار گیرد. در همین راستا، برنتراپ و همکاران (Brentrup et al., 2004) نیز بیان داشتند که بررسی وضعیت پایـداری نظـام‌هـای تولیدی امری ضروری می‌باشد. این محققان تأکید کردند که محاسبه LCA می‌تواند مشکلات فرآیندهای نظـام تولیـدی از قبیـل میـزان مصرف منابع و تغییر کاربری اراضی را نیز مشخص و مرتفـع نمایـد. اکرت و همکاران (Eckert et al., 1999) نیز بیان داشتند که بررسی عملکرد زیست‌محیطی نظام‌های تولید امری مهم و ضروری می‌باشد. همچنین از آن‌جا که این رهیافت‌ها عملکرد زیست‌محیطی نظام‌های مختلف تولیدی را با هم مقایسه می‌کند، در نهایت، می‌توان نظام‌های متناسب از نظر کاهش آلودگی و مصرف بهینه منابع را معرفی کرد و از این طریق نیز منجر به بهبود شرایط زیست‌محیطی شد.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که ترسیب کربن خاک مـزارع گنـدم استان خراسان رضوی پایین می‌باشد که به محتوی پایین مـاده آلـی خاک نسبت داده شد. ضرایب تبدیل و پتانسیل ترسیب کربن انـدام-های هوایی و زیرزمینی گندم به‌طور معنی‌داری مختلف بودند. لذا بـا توجه به پایین بودن میزان ماده آلی خاک و تأثیر مثبت بقایای گیاهی بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک به‌ویژه محتوی کربن آلی، توصیه می‌شود مصرف بقایای اندام‌های هوایی و زیرزمینی گندم را جهت بهبود ماده آلی به‌ویژه در بوم‌نظام‌های مناطق خشک و نیمه-خشک مدنظر قرار داد که از این طریق می‌توان ترسیب کربن خاک را نیز بهبود بخشید. همچنین از آن‌جا که مصرف نیتروژن نقش مهمـی در تشدید پتانسیل گرمایش جهـانی دارد، توصیـه مـی‌شـود مصـرف نهاده‌های آلی و وارد کردن گونه‌های تثبیت‌کننده نیتروژن را به‌عنوان راهکاری بوم‌شناختی به‌منظور جـایگزینی بـرای کودهـای شـیمیایی نیتروژنه مدنظر قرار داد. همچنین بـه‌منظـور کـاهش اثـرات زیسـت محیطی پیشنهاد می‌شود وضعیت پایداری نظام‌های تولید با استفاده از راهکارهای مختلف اکولوژیکی نظیر ارزیابی چرخه‌حیات مورد بررسی قرار گیرد.

References

1- Abdi, N., Maadah Arefi, H., and Zahedi Amiri, G., 2008. Estimation of carbon sequestration in *Astragalus* rangelands of Markazi province (Case study: Malmir rangeland in Shazand region). Iranian Journal of Range Desert Research 15(2): 269-282. (In Persian with English Summary)

2- Barker-Reid, F., Gates, W.P., Wilson, K., Baigent, R., Galbally, I.E., Meyer, C.P., Weeks, I.A., and Eckard, R.J., 2005. Soil nitrous oxide emission from rainfed wheat in SE Australia. In: A. Van Amsted (Ed.). Non-CO_2 greenhouse gases (NCGG-4). Utrecht, the Netherlands: Millpress.

3- Bationo, A., and Buerkert, A., 2001. Soil organicc arbon management for sustainable land use in Sudano-Sahelian West Africa. Nutrient Cycling in Agroecosystems 61: 131–142.

4- Bordbar, S.K., and Mortazavi Jahromi, S.M., 2008. Carbon sequestration potential of *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. and *Acacia salicina* Lindl. plantation in western areas of Fars province. Pajouhesh Sazandegi (70): 95-103. (In Persian with English Summary)

5- Bouwman, A.F., 1990. Exchange of greenhouse gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere. In: A.F. Bouwman (Ed.), Soils and the Greenhouse Effect. p. 61–127. Chichester: Wiley.

6- Braschkat, J., Patyk, A., Quirin, M., and Reinhardt, G.A., 2003. Life cycle assessment of bread production–a comparison of eight different scenarios. In: Proceedings of the Fourth International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector, 6-8 October, Bygholm, Denmark. p. 9-16.

7- Brentrup F., Kusters J., Kuhlmann H., and Lammel J., 2004. Environmental impacts assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment methodology. I. Theorical concept of a LCA method tailored to crop production. European Journal of Agronomy 20: 247-264.

8- Brentrup, F., and Palliere, C., 2008. GHG emissions and energy efficiency in European nitrogen fertiliser production and use. Proceedings / International Fertiliser Society, 11 December, York, UK.

9- Busari, M.A., Kukal, S.S., Kaur, A., Bhatt, R., and Dulazi, A.A., 2015. Conservation tillage impacts on soil, crop and the environment. International Soil and Water Conservation Research 3(2): 119-129.

10- Campbell, C.A., Mc Conkey, B.G., Zentner, R.P., Selles, F., and Curtin, D., 1996 a. Long-term effects of tillage and crop rotations on soil organic C and total N in a clay soil in southwestern Saskatchewan. Canadian Journal of Soil Science 76: 395-401.

11- Campbell, C.A., Mc Conkey, B.G., Zentner, R.P., Selles, F., and Curtin, D., 1996 b. Tillage and crop rotation effects on soil organic C and N in a coarse-textured Typic Haploboroll in southwestern Saskatchewan. Soil and Tillage Research 37: 3-14.

12- Chambers, J.C., and Brown, R.E., 1983. Methods for Vegetation Sampling and Analysis on Revegetated Mined Lands. Intermountain Forest and Range Experiment Station. General Technical Report. International.

13- Cooper, J.M., Butler, G., and Leifert, C., 2011. Life cycle analysis of greenhouse gas emissions from organic and conventional food production systems, with and without bio-energy options. NJAS Wageningen. Journal of Life Science 58: 185-192.

14- Cronbach, L.J., 1951. Coefficient alpha and the internal structure of tests. Psychometrika 16(3): 297-334.

15- Crutzen, P.J., 1981. Atmospheric chemical processes of the oxides of nitrogen, including nitrous oxide. In: C.C. Delwiche (Ed.). Denitrification, nitrification, and atmospheric nitrous oxide (p. 17–44). New York, Wiley.

16- Daudu, C.K., Muchaonyerwa, P., and Mnkeni, P.N.S., 2009. Litterbag decomposition of genetically modified maize residues and their constituent *Bacillus thuringiensis* protein (Cry_{1Ab}) under field conditions in the central region of the Eastern Cape, South Africa. Agriculture, Ecosystems and Environment 134: 153–158.

17- Duxbury, J.M., Harper, L.A., and Moiser, A.R., 1993. Contributions of agroecosystems to global climate change. In: L. Harper, J.M. Duxbury A.R. Moiser and D.S. Rolstonj (Eds.). Agroecosystems effects on radioactively important trace gases and global climate change. ASA Publications, No. 55. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, p. 1-18.

18- Eckert, H., Breitschuh, G., and Sauerbeck, D., 1999. Kriterien einer umweltverträglichen Landbewirtschaftung (KUL)-ein Verfahren zur ökologischen Bewertung von Landwirtschaftsbetrieben (Criteria of Environmentally friendly land use (KUL)—a method for the environmental evaluation of farms). Agriculture Biotechnology

Research 52: 57-76. (In German)

19- Falloon, P.D., Smith1, P., Smith, J.U., Szabó, J., Coleman, K., and Marshall, S., 1998. Regional estimates of carbon sequestration potential: linking the Rothamsted Carbon Model to GIS databases. Biology and Fertility of Soils 27(3): 236-241.

20- Follett, R.F., Castellanos, J.Z., and Buenger, E.D., 2005. Carbon dynamics and sequestration in an irrigated Vertisol in Central Mexico. Soil and Tillage Research 83: 148-158.

21- Forouzeh, M.R., Heshmati, G.A., Mesbah, H., and Ghanbarian, G.A., 2008. Effect of floodwater irrigation on carbon sequestration potential of *Helianthemum lippii* (L.) Pers., *Dendrostellera lessertii* Van Tiegh. and *Artemisia sieberi* Besser in the Gareh Bygone plain: A case study. Pajouhesh Sazandegi 78:11-19. (In Persian with English Summary)

22- Gao, Y.H., Lue, P., Wu, C.H., and Wang, G.X., 2007. Grazing intensity impacts on carbon sequestration in an Alpine Meadow on the Eastern Tibetan Plateau. Journal Journal of Agricultural and Biological Science 3(6): 642-647.

23- Hajabbasi, M.A., and Hemmat, A., 2000. Tillage impacts on aggregate stability and crop productivity in a clay-loam soil in central Iran. Soil and Tillage Research 59: 205-212.

24- Havlin, J.L., Kissel, D.E., Maddux, L.D., Claasen, M.M., and Long, J.H., 1990. Crop rotation and tillage effects on soil organic carbon and nitrogen. Soil Science Society of America Journal 54: 448–452.

25- Heinemann, A.B., Maia, H.N., Dourado-Neto, A.D., Ingram, K.T., and Hoogenboom, G., 2005. Soybean (*Glycine max* L. Merr.) growth and development response to CO_2 enrichment under different temperature regimes. European Journal of Agronomy 24: 52-61.

26- Hill, M.J., Braaten, R., and McKeon, G.M., 2003. A scenario calculator for effects of grazing land management on carbon stocks in Australian rangelands. Environmental Modelling and Software 18(7): 627-644.

27- Hutchinson, J.J., Campbell, C.A., and Desjardins, R.L., 2007. Some perspectives on carbon sequestration in agriculture. Agriculture and Forest Meteorology 142: 288–302.

28- Ingram, J.S.I., and Fernandez, E.C.M., 2001. Managing carbon sequestration in soils: concepts and terminology. Agriculture, Ecosystems and Environment 87: 111-117.

29- IPCC., 2007. Summary for Policy Makers. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report. Cambridge University Press, Cambridge.

30- ISO (International Organization for Standardization). 2006. ISO 14040: 2006 (E) Environmental Management– Life Cycle Assessment– Principles and Framework.

31- Jafarian, Z., and Tayefeh Seyyed Alikhani, L., 2013. Carbon sequestration potential in dry farmed wheat in Kiasar region. Agricultural Knowledge and Sustainable Production 23(1): 31-41. (In Persian with English Summary)

32- Jastrow, J.D., Amonette, J.E., and Bailey, V.L., 2007. Mechanisms controlling soil carbon turnover and their potential application for enhancing carbon sequestration. Climate Change 80: 5–23.

33- Khan, S., Khan, M.A., and Latif, N., 2010. Energy requirements and economic analysis of wheat, rice and barley production in Australia. The Soil Environment 29: 61–68.

34- Khan, S., Khan, M.A., Hanjra, M.A., and Mu, J., 2009. Pathways to reduce the environmental footprints of water and energy inputs in food production. Food Policy 34: 141–149.

35- Khorramdel, S., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Khorasani, R., and Ghorbani, R., 2013. Evaluation of carbon sequestration potential in corn fields with different management systems. Soil and Tillage Research 133: 25-31.

36- Khorramdel, S., Rezvani Moghaddam, P., and Jafari, L., 2015. Evaluating the potential of carbon sequestration for canola fields under Khorasan Razavi province. Electronic Journal of Crop Production In Press. (In Persian with English Summary)

37- Khorramdel, S., Rezvani Moghaddam, P., and Amin Ghafori, A., 2014. Evaluation of environmental impacts for wheat agroecosystems of Iran by using life cycle assessment methodology. Cereal Research 4(1): 27-44. (In Persian with English Summary)

38- Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., Yousefi, M., and Movahedi, M., 2013. Modeling of energy consumption and GHG (greenhouse gas) emissions in wheat production in Esfahan province of Iran using artificial neural networks. Energy 52: 333-338.

39- Kirchmann, H., Kätterer, T., Bergström, L., Börjesson, G., and Bolinder, M.A., 2016. Flaws and criteria for design and evaluation of comparative organic and conventional cropping systems. Field Crops Research 186(1): 99–106.

40- Lal, R., 1997. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO_2-enrichment. Soil and Tillage Research 43: 81–107.
41- Lal, R., 2004. Carbon emission from farm operations. Environment International 30(7): 981-990.
42- Lal, R., and Kimble, J.M., 1997. Conservation tillage for carbon sequestration. Nutrient Cycling in Agroecosystems 49(1-3): 243-253.
43- Lammel, J., 2000. Environmental aspects of fertilizer production and use- consequences for fertilizer types and use. IFA Production and International Trade Conference, 17-19 October, Shanghai, China.
44- López-Bellido, R.J., Fontán, J.M., López-Bellido, J., and López-Bellido, L., 2010. Carbon sequestration by tillage, rotation and nitrogen fertilization in a Mediterranean Vertisol. Agronomy Journal 102(1): 310-318.
45- Ma, Z., 1999. Carbon sequestration by switchgrass. Ph.D. Thesis of Graduated Faculty of Auburn, University, Alabama. 124 p.
46- Mahdavi, K., Sanadgol, A., Azarnivand, H., Babaei Kafaki, S., Jafari, M., Maleki, M., and Malekian, A., 2009. Effects of removing aerial biomass and density on carbon sequestration and weight of *Atriplex lentiformis*. Asian Journal of Plant Science 8: 183-186.
47- Mc Conkey, B.G., Liang, B.C., Campbell, C.A., Curtin, D., Moulin, A., Brandt, S.A., and Lafond, G.P., 2003. Crop rotation and tillage impact on carbon sequestration in Canadian prairie soils. Plant and Soil 74(1): 81-90.
48- Meisterling, K., Samaras, C., and Schweizer, V., 2009. Decisions to reduce greenhouse gases from agriculture and product transport: LCA case study of organic and conventional wheat. Journal of Cleaner Production 17: 222–230.
49- Melero, S., López-Bellido, R.J., López-Bellido, L., Muñoz-Romero, V., Moreno, F., and Murillo, J.M., 2011. Long-term effect of tillage, rotation and nitrogen fertiliser on soil quality in a Mediterranean vertisol. Soil and Tillage Research 114(2): 97-107.
50- Mortenson, M., and Schuman, G., 2002. Carbon sequestration in rangeland interseeded with yellow-flowering alfalfa (*Medicago Sativa* Spp. Falcata) USDA Symposium on Natural Resource Management to Offset Greenhouse Gas Emission in University of Wyoming.
51- Mosaddeghi, M.R., Hajabbasi, M.A., Hemmat, A., and Afyuni, M., 2000. Soil compatibility as affected by soil moisture content and farmyard manure in central Iran. Soil and Tillage Research 55: 87-97.
52- Moudrý jr, J., Jelínková, Z., Plch, R., Moudrý, J., Konvalina, P., and Hyšpler, R., 2013. The emissions of greenhouse gases produced during growing and processing of wheat products in the Czech Republic. Journal of Food, Agriculture and Environment 11(1): 1133-1136.
53- Nagy, C., 2000. Energy and Greenhouse Gas Emission Coefficients for Inputs used in Agriculture. Report to the Prairie Adaptation Research Collaborative, Energy, (PARC). Centre for Studies in Agriculture Law and the Environment (CSALE) and Canadian Agricultural Energy End-Use and Data analysis Centre (CAEEDAC), 11 p.
54- Najm-Eldini, N., 2013. Eeffects of mechanical structural operations to improve watershed management in carbon sequestration for climate change mitigation (Case study: Watershed Gavdareh in Kurdistan province). The 2nd National Conference on Climate Change and Agriculture, 23 August, Urmia, Iran. (In Persian)
55- Nobakht, A., Pourmajidian, M., Hojjati, S.M., and Fallah A., 2011. A comparison of soil carbon sequestration in hardwood and softwood monocultures (Case study: Dehmian forest management plan, Mazindaran). Iranian Journal of Forest 3(1): 13-23. (In Persian with English Summary)
56- Polidori, A., Turpin, B.J., Davidson, C.I., Rodenburg, L.A., and Maimone, F., 2008. Organic PM2.5: Fractionation by polarity, FTIR spectroscopy, and OM/OC ratio for the Pittsburgh aerosol. Aerosol Science and Technology 42: 233–246.
57- Russell, A.E., Laird, D.A., Parkin, T.B., and Mallarino, A.P., 2005. Impact of nitrogen fertilization and cropping system on carbon sequestration in Midwestern Mollisols. Soil Science Society of America Journal 69: 413-422.
58- Sainju, U.M., Caesar-TonThat, T. ,and Jabro, J.D., 2009. Carbon and nitrogen fractions in dryland soil aggregates affected by long-term tillage and cropping sequence. Soil Science Society of America Journal 73: 1488–1495.
59- Schulp, C.J.E., Naburus, G.J., Verburg, P.H., and Waal, R.W., 2008. Effect of tree species on carbon stock in forest floor and mineral soil and implication for soil carbon inventories. Forest Ecology and Management 256: 482-490.
60- Shirani, H., Hajabbasi, M.A., Afyunia, M., and Hemmat, A., 2002. Effects of farmyard manure and tillage systems on soil physical properties and corn yield in central Iran. Soil and Tillage Research 68: 101-108.
61- Singh, G., Bala, N., Chaudhuri, K.K., and Meena, R.L., 2003. Carbon sequestration potential of common access

resources in arid and semi-arid regions of northwestern India. Indian Forester 129(7): 859-864.

62- Skowroñska, M., and Filipek, T., 2014. Life cycle assessment of fertilizers: A review. International. Agrophysics 28: 101-110.

63- Snedecor, G.W., and Cochran, W.G., 1980. Statistical Methods. Iowa State University Press.

64- Snyder, C.S., Bruulsema, T.W., Jensen, T.L., and Fixen, P.E., 2009. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. Agriculture, Ecosystems and Environment 133: 247-266.

65- Tamartash, R., Tatian, M.R., and Yousefian, M., 2012. The ability of different vegetative forms to carbon sequestration in plain rangeland of Miankaleh. Polish Journal of Environmental Studies 38(62): 45-54.

66- Tzilivakis, J., Warner, D.J., May, M., Lewis, K.A., and Jaggard, K., 2005. An assessment of the energy inputs and greenhouse gas emissions in sugar beet (*Beta vulgaris*) production in the UK. Agricultural Systems 85: 101-119.

67- Walkley, A., and Black, I., 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science Society of America Journal 37: 29-38.

68- West, T.O., and Post, W.M., 2002. Soil carbon sequestration by tillage and crop rotation: a global data analysis. Soil Science Society of America Journal 66: 1930–1946.

69- Yan, H., Cao, M., Liu, J., and Tao, B., 2007. Potential and sustainability for carbon sequestration with improved soil management in agricultural soils of China. Agriculture, Ecosystems and Environment 121(4): 325-335.

70- Yong, Z.S., 2007. Soil carbon and nitrogen sequestration following the conversion of cropland to alfalfa land in northwest china. Soil and Tillage Research 92: 181-189.

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.2, Summer 2020, p. 265-279

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹، ص ۲۷۹-۲۶۵

Evaluation of Carbon Sequestration for Above-Ground and Below-Ground Tissues and Global Warming Potential of Wheat (*Triticum aestivum* L.)

A. Mollafilabi[1*] and J. Shabahng[2]
Submitted: 21-09-2018
Accepted: 20-11-2018

Mollafilabi, A., and Shabahng, J., 2020. Evaluation of carbon sequestration for above-ground and below-ground tissues and global warming potential of wheat (*Triticum aestivum* l.). Journal of Agroecology. 12(2):265-279.

Introduction

CO_2 is considered the most important greenhouse gas, due to the dependence of world economies on fossil fuels. CO_2 concentration are enhancing in the last decades, mainly due to the increase of anthropogenic emissions. Carbon dioxide capture is a technology aimed at mitigating greenhouse gas emissions from burning fossil fuels during industrial processes. Conservation tillage, crop rotation, and crop residue management are agronomic practices that potentially decrease CO_2 and other greenhouse gas emissions from agriculture. Crop residues also improve organic matter decomposition due to declined soil-residue contact. Soil is one of the significant "friends" in combating climate change and global warming, and a zero-soil consumption approach is the best way to stop adverse effects, although it is not the only one that should be applied. The soil has been considered as a possible carbon sink for sequestering atmospheric CO_2.

Our purposes were to determine a set of coefficients for calculating conversion coefficients, dry weight, organic carbon, and carbon sequestration of above-ground and below-ground tissues and assess global warming potential (GWP) for wheat as an essential crop in Khorasan-e Razavi province.

Materials and Methods

A systematic random sampling method was employed to select five samples from 25 fields situated in Khorasan-Razavi Province, Iran, during 2016 and 2017. The experimental design was a completely randomized design with three replications. Below-ground tissues by using a cylinder were manually sampled and then separated from the soil. After sampling, the above-ground tissues (such as flower and leaf) were isolated from below-ground tissues (including tunic and corm) to measure the above-ground and below-ground biomasses, respectively. Above-ground and below-ground biomasses were separately dried to constant weight and expressed on a dry matter basis. Conversion coefficients of above- ground and below- ground tissues were determined with the combustion method separately. Then, sequestration carbon potential for above- ground and below- ground tissues of saffron and soil were computed. The ash method was used to determine the conversion coefficients in spikes, stems, leaves, and roots. Finally, greenhouse gases (such as CO_2, N_2O, and CH_4) emission were also calculated using emission coefficients. Cronbach's alpha was used for assessing the reliability of the questionnaire.

For statistical analysis, analysis of variance and Duncan's test were performed using SAS version 9.3.

Results and Discussion

The results showed that dry weight, organic carbon content, conversion coefficients, and carbon sequestration for above- ground and below- ground tissues of wheat were significantly different. The biomass of above-ground tissues was higher than below-ground tissues of wheat. The results revealed that the maximum (52.0%) and minimum (31.99%) conversion coefficients of wheat were related to spikes (seeds included) and roots, respectively. Besides, the total carbon sequestration of below-ground and above-ground of wheat was calculated 8.25 $t.ha^{-1}$ so that the maximum (4.28 $t.ha^{-1}$) and minimum (0.35 $t.ha^{-1}$) values were found in stems and roots,

1- Assisstant Professor, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran.
2- Ph.D. in Agroecology, Department of Agrotechnology, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
(*- Corresponding Author Email: a.filabi@rifst.ac.ir)
Doi:10.22067/jag.v12i2.75482

respectively. GWP was recorded as 8884.86 kg CO_2-equiv. per one ton of seed.

Conclusion

This study shows that while there is significant potential for sequestering carbon in wheat agroecosystems through root and straw incorporations. It is recommended that returning wheat crop residues to the soil affected the soil's physical, chemical, and biological properties. Furthermore, as nitrogenous fertilizer application plays a crucial role in increasing GWP, thus it is suggested that organic fertilizers and legumes might be suitable alternatives for chemical fertilizers. It is therefore concluded that the application of crop residues in agroecosystems seems to be a rational ecological approach for sustainable management of wheat agroecosystems with a consequence of the reduction in greenhouse gases and mitigation of climate change. This could make a significant contribution to improving agricultural sustainability and stability in arid and semiarid regions.

Keywords: Conversion coefficient, Greenhouse gas emissions, Nitrogen fertilizer, Organic carbon